

**This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 43 20 341 A 1

51 Int. Cl. 5:
B 23 K 26/00
C 03 C 23/00
B 44 D 3/16

21 Aktenzeichen: P 43 20 341.8
22 Anmeldetag: 21. 6. 93
43 Offenlegungstag: 22. 12. 94

DE 43 20 341 A 1

71 Anmelder:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung eV, 80636 München, DE

72 Erfinder:
Barkhausen, Winfried, Dipl.-Phys., Vaals, NL;
Wissenbach, Konrad, Dr., 5100 Aachen, DE;
Dubbins, Frank, 5100 Aachen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zum Abtragen von Deckschichten von Glasbauteilen mit Laserstrahlung und Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Abtragen von Deckschichten von Glasbauteilen mit Laserstrahlung sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird die Deckschicht derart mit dieser Strahlung beaufschlagt, daß sie verdampft (vollständig oder teilweise). Gleichzeitig wird die Bearbeitungsstelle mit einer Meßstrahlung, insbesondere eines Sondenlasers, beaufschlagt und der Transmissionsgrad gemessen. Der Abtragvorgang wird dann in Abhängigkeit der Transmissionsmessung gesteuert. Die Erfindung eignet sich insbesondere für das Entfernen von Verwitterungsschichten bei kulturhistorischen Glasmalereien, wie z. B. Kirchenverglasungen.

DE 43 20 341 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 10. 94 408 051/303

11/32

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Abtragen von Deckschichten von Glasbauteilen mit Laserstrahlung, eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens sowie mit dem Verfahren bearbeitete Glasbauteile.

Ein bevorzugtes Anwendungsgebiet der vorliegenden Erfindung ist die Restaurierung kulturhistorischer Glasmalereien wie z. B. Kirchenverglasungen.

Durch den Einfluß gasförmiger oder in Flüssigkeit gelöster chemischer Substanzen wie beispielsweise SO_2 in der Umgebungsluft können Gläser chemisch umgewandelt werden. Es bilden sich häufig Deckschichten sog. Korrosions- oder Verwitterungsschichten an der Oberfläche die als Endprodukt des Zersetzungsprozesses die optischen Eigenschaften des Glases verändern. Je nach Dicke der Korrosionsschicht auf der Oberfläche ändern sich die Transmissionseigenschaften des Glases für Licht in unterschiedlicher Weise; die Veränderungen reichen von einer Trübung des Glases bis hin zur vollständigen Absorption des Lichtes in der Deckschicht.

Kirchenfenster sind wegen der langen Einwirkzeiten der Umwelteinflüsse besonders stark von der Korrosionsbildung betroffen.

Ein weiteres Anwendungsgebiet der Erfindung ist das gänzliche oder teilweise Entfernen von Transport- oder Sichtschuttschichten aus Lacken, Kunststoffen o.a. von neuen oder Schrottglasbauteilen zwecks Wiederverwendung oder Weiterverarbeitung als gereinigtes Glasbauteil oder als Glasbauteil mit gezieltem Abtrag der Deckschicht zur Erzielung gewünschter Eigenschaften.

Stand der Technik

Bei den allgemein bekannten Verfahren zum Abtragen von Verwitterungsschichten von Glasbauteilen, insbesondere von Kirchenverglasungen werden üblicherweise mechanische oder naßchemische Verfahren eingesetzt. Bei den mechanischen Verfahren wird mit Hilfsmitteln wie Bürsten, Skalpellen u. ä. die Korrosionskruste vom Glas entfernt. Angestrebt wird hierbei, die Verwitterungsschicht nur teilweise zu entfernen, um das Glas nicht unnötig statisch zu schwächen. Durch den vollständigen Abtrag der Deckschicht würde außerdem das Glas einem erhöhten Witterungseinfluß ausgesetzt. Das definierte Entfernen bis zu einer gewissen Tiefe, z. B. bis zur halben Dicke der Verwitterungsschicht, ist mit dieser Methode nur schwer möglich. Bei der Entfernung der Korrosionsschichten mittels chemischer Verfahren, z. B. durch Auflegen getränkter Kompressen, müssen lange Bearbeitungszeiten in Kauf genommen werden. Diese Verfahren sind außerdem wegen der Gefahr der Schädigung des Glases durch die Chemikalien in Fachkreisen sehr umstritten.

Die genannten Restaurierungsmethoden sind sehr zeit- und kostenintensiv, da sie in Handarbeit durchgeführt werden. Darüberhinaus besteht die Gefahr der mechanischen oder chemischen Beanspruchung der Gläser durch diese Verfahren. Je nach chemischer Zusammensetzung sind die Deckschichten sehr hart und lassen sich mit mechanischen Hilfsmitteln kaum entfernen.

Zur Bearbeitung von Glasbauteilen mit Laserstrahlung sind im Stand der Technik verschiedene Verfahren offenbart, bei denen jedoch das Glasbauteil selbst der

Bearbeitung unterworfen wird, in der Art, daß z. B. Teile des Glases abgetragen werden.

Die Druckschrift DE-OS 31 21 138 beschreibt beispielsweise ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Dekorieren von Glaserzeugnissen. Diese Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß man auf die Oberfläche des Glaserzeugnisses die maximale Energiedichte eines gebündelten Laserstrahles auftreffen läßt. Wellenlänge, Intensität und Energie werden so eingestellt, daß bei der Absorption der Laserstrahlung in der oberflächenschicht des Glasbauteils das Glas verdampft oder eine Änderung dessen optischer Eigenschaften hervorgerufen wird. Dabei wird beispielsweise ein CO_2 -Laser mit einer Leistung von 10—1000 W eingesetzt.

In der DE-OS 31 45 278 sind ein Verfahren zum berührungslosen Abtragen von Material von der Oberfläche eines Glasgegenstandes und eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens offenbart. In dieser Erfindung wird ein Laserstrahl durch eine wenigstens teilweise absorbierende Matrix geführt und in eine Vielzahl von Einzelstrahlen aufgeteilt. Hierdurch kann der Laserstrahl vorzugsweise für Markierungszwecke geformt und beliebige Abtragsmuster auf der Oberfläche erzeugt werden. Das Verfahren beinhaltet die Formung einer für das Abtragen von Glaswerkstoffen idealen Laserstrahlverteilung.

Während es bei diesem Stand der Technik das Ziel ist, die Glasbauteile selbst zu bearbeiten und an ihnen bleibende Veränderungen, z. B. Markierungen, hervorzurufen, sollen solche Veränderungen des Glases mit der vorliegenden Erfindung gerade vermieden werden können, um z. B. eine Beschädigung von historischen Kirchenfenstern zu vermeiden.

Ferner ist im Stand der Technik (DE-OS 39 11 329) das Abtragen von Deckschichten mit Laserstrahlung zum Entlacken von Faserverbundwerkstoffteilen und von Aluminiumlegierungen offenbart. Bei diesem Verfahren wird die Lackschicht mittels gepulster Laserstrahlung verdampft und die dabei auftretende Lichtemission an der Bearbeitungsstelle einer spektroskopischen Analyse unterworfen, damit die charakteristischen Spektrallinien der Lackschicht detektiert werden können, um bei Abwesenheit dieser Linien auf die Beseitigung der Lackschicht schließen zu können. Ein definierter teilweiser Abtrag bis zu einer gewünschten Restschichtdicke, gegebenenfalls mit einer Variation der Restschichtdicke auf der Oberfläche ist mit diesem Verfahren jedoch nicht ohne weiteres möglich.

Darstellung der Erfindung

Demgegenüber liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Abtragen von Deckschichten beliebiger Zusammensetzung von Glasbauteilen anzugeben, bei dem die Abtragtiefe und die Abtragsrate während des Abtragsvorgangs steuerbar sind, so daß gegebenenfalls eine Restschicht definierter Schichtdicke auf dem Glasbauteil verbleiben und eine Beschädigung des Glases ausgeschlossen werden kann. Ferner liegt der Erfindung das Problem zugrunde, die Deckschicht eines Glasbauteils dahingehend gezielt und definiert abzutragen, daß eine Restdeckschicht mit einer vorgebbaren Schichtdickenverteilung auf dem Glasbauteil zurückbleibt, beispielsweise zur Anpassung oder gezielten Veränderung der Lichtdurchlässigkeit in Abhängigkeit von unterschiedlichen farblichen Bereichen oder Bereichen unterschiedlicher Stärke des Glasbauteils oder auch zu Markierungszwecken.

Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt durch die im Anspruch 1 angegebenen Merkmale. Vorteilhafte Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in den Unteransprüchen 2 bis 20 angegeben.

Die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens liegen zum einen in dem berührungslosen Abtragen von Deckschichten, was insbesondere bei der Restaurierung wertvoller Glasbauteile wie Kirchenfenster von Nutzen ist und zum anderen im Abtragen mit definierter und während des Abtragvorgangs steuerbarer Abtragrate und Abtragtiefe, wozu erfindungsgemäß der Transmissionsgrad des Glases mit der darauf befindlichen Deckschicht gemessen wird. Damit ist es insbesondere möglich, Deckschichten mit ungleichmäßiger Schichtdicke, wie beispielsweise Verwitterungsschichten, bis auf eine vorgebbare Restschichtdicke abzutragen, ohne daß zuvor die Topologie der ungleichmäßigen Deckschicht ermittelt werden muß. Somit ist es möglich, auf der gesamten Fläche oder auch nur in vorgegebenen Bereichen des Glasbauteils eine konstante Lichtdurchlässigkeit zu erzielen. Dies ist beispielsweise bei Kirchenräumen notwendig, da eine zu starke Aufhellung des Glases zu einer unerwünschten Veränderung des Charakters des Kirchenraums führen kann. Außerdem hat der auf dem Glas verbleibende Teil der Deckschicht eine Schutzfunktion vor weiteren Umwelteinflüssen und verhindert somit eine weitere Verwitterung.

Die Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß den Unteransprüchen 9 ff hat zusätzlich den Vorteil, daß der Schichtabtrag nicht kontinuierlich erfolgt, sondern pulsweise die Deckschicht mit einer im Mikrometerbereich liegenden Genauigkeit pro Laserpuls abgetragen und die Transmissionsmessung zwischen aufeinanderfolgenden Laserpulsen erfolgen kann.

Die Verwendung von Laserstrahlung mit einer Wellenlänge, für die das Glasbauteil eine hohe Transmission aufweist, gemäß dem Unteranspruch 16, hat darüberhinaus den Vorteil, daß eine Beschädigung des Glasbauteils prinzipiell ausgeschlossen ist, so daß ein versehentlicher Fehler in der Steuerung des Abtragvorgangs keine negativen Folgen für das Glas hat.

Schließlich ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Vorrichtung anzugeben, die es gestattet, das erfindungsgemäße Verfahren durch Kombination einfacher und an sich bekannter technischer Einrichtungen mit verhältnismäßig geringem Aufwand und somit kostengünstig durchführen zu können.

Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt mit den Merkmalen des Patentanspruchs 21. Vorteilhafte Weiterbildungen dieser Lösung sind in den Unteransprüchen 22 bis 24 angegeben.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Es zeigen:

Fig. 1 schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 2 Abtragtiefe in Abhängigkeit der an einer Bearbeitungsstelle eingestrahnten Laserpulse beim Abtragen einer Verwitterungsschicht von einem Glasbauteil,

Fig. 3 Transmissionssignal (Photodiodenspannung) in Abhängigkeit von der Anzahl der an einer Bearbeitungsstelle eingestrahnten Laserpulse,

Fig. 4 Regelkreis für das erfindungsgemäße Verfahren,

Fig. 5a mikroskopische Aufnahme eines Glasbauteils mit einem unregelmäßig bearbeiteten Bereich,

Fig. 5b mikroskopische Aufnahme eines Glasbauteils

mit einem erfindungsgemäß geregelt bearbeiteten Bereich.

Bester Weg zur Ausführung der Erfindung

In Fig. 1 ist eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung schematisch dargestellt, anhand derer das erfindungsgemäße Verfahren im folgenden näher erläutert werden soll.

Die von einem Laser 1 ausgehende Laserstrahlung 2 wird mit einem Umlenkspiegel 3 und einer Bearbeitungsoptik 4 auf die Bearbeitungsstelle 5 des mit der Deckschicht 6 belegten Glasbauteils 7 geführt. Bei dem Laser 1 handelt es sich im vorliegenden Ausführungsbeispiel um einen gepulsten Laser, für den verschiedene Lasertypen wie z. B. Argon-, Farbstoff-, CO₂- oder vorzugsweise Excimer- oder Festkörperlaser verwendet werden können.

Die Pulsdauer der Laserstrahlung liegt im Bereich von ps bis ms, wodurch die Wärmeeinbringung in die Deckschicht minimiert wird. Eine thermische Beeinflussung des Glases und hierdurch induzierte Spannungen im Glas können so vermieden werden. Die Laserstrahlung hat eine Spitzenleistung im kW bis GW-Bereich, um Anteile der Deckschicht spontan zu verdampfen. Je nach Wellenlänge der verwendeten Laserstrahlquelle kann eine optische Eindringtiefe für die Laserstrahlung innerhalb der Deckschicht im Bereich von 0,1 bis zu einigen 10 Mikrometer realisiert werden. Die Pulsdauern sind so kurz, daß die thermische Eindringtiefe der Laserstrahlung der optischen Eindringtiefe vergleichbar ist, so daß sich insgesamt Abtragtiefen von etwa 1 bis 10 Mikrometer pro Laserpuls erzielen lassen.

Zur Positionierung des Glasbauteils 7 und zur Beobachtung der Bearbeitungsstelle 5 ist eine Sichtkontrolle bestehend aus einem Umlenkspiegel 13 und einer Beobachtungsoptik 14 vorgesehen.

Von einem Sondenlaser 8 wird eine Meßstrahlung 9 durch die Umlenkspiegel 13, 3, die im Wellenlängenbereich der Meßstrahlung 9 durchlässig sind, ebenfalls auf die Bearbeitungsstelle 5 geführt. Anstelle des Sondenlasers kann auch jede andere monochromatische oder polychromatische Lichtquelle verwendet werden. Das Glasbauteil 7 kann mit einer CNC-gesteuerten Handhabungseinrichtung 12 verfahren werden, um die Position der Bearbeitungsstelle 5 zu verändern. Selbstverständlich ist es auch möglich, anstelle der Handhabungseinrichtung die Bearbeitungs- und Meßoptik zu verfahren. Unter dem Glasbauteil 7 befindet sich eine Detektorvorrichtung 10, die beispielsweise eine Photodiode zur Messung der Intensität der Meßstrahlung 9 aufweist, mit der die Transmission der Meßstrahlung 9 an der Bearbeitungsstelle 5 gemessen wird. Dieser Meßwert, der den Informationswert über die Dicke der sich an dieser Stelle auf dem Glasbauteil befindlichen Deckschicht enthält, wird an einen Prozeßrechner 11 weitergegeben, der den Laser 1 und die Handhabungseinrichtung 12 wie im folgenden näher erläutert steuert.

Fig. 2 zeigt, wie sich die Abtragtiefe einer Verwitterungsschicht mit zunehmender Anzahl der auf die Bearbeitungsstelle 5 eingestrahnten Laserpulse ändert. Es können drei Bereiche unterschieden werden: Im ersten Bereich "Reinigen des Glases" nimmt die Abtragtiefe mit steigender Pulszahl stark zu. In diesem Bereich steigt auch die Photodiodenspannung der Detektorvorrichtung 10 zunächst stark an, wie Fig. 3 zu entnehmen ist. Sobald die Verwitterungsschicht vollständig abgetragen ist (Bereich zwei), stagniert der weitere Abtrag-

prozeß, da die Glasoberfläche erreicht wird und die Laserstrahlung im Glas in geringerem Maße absorbiert wird. In diesem Bereich verflacht sich auch der Verlauf der Photodiodenspannung (Fig. 3). In Bereich drei kann es bei zu hohen Laserpulszahlen und Laserstrahlenergien zum Abtragen des Glases kommen. Diese ungewollte "Schädigung des Glases" muß durch geeignete Wahl der Laserstrahlparameter sicher vermieden werden.

Zur Steuerung des Lasers und der Handhabungseinrichtung und damit zur Regelung des Abtragsvorgangs wird der Transmissionsgrad des Glasbauteils mit der darauf befindlichen Deckschicht ausgewertet. Hierzu wird die Intensität der an der Bearbeitungsstelle transmittierten Meßstrahlung des Sondenlasers, dessen Wellenlänge im vorliegenden Ausführungsbeispiel im sichtbaren Spektralbereich liegt, nach jedem Laserpuls gemessen und der Meßwert an den Prozeßrechner weitergegeben. Zur Auswertung der Meßwerte liegen dem Prozeßrechner einer der folgenden Algorithmen einzeln oder in Kombination zugrunde:

— Absolutwert der Transmission: Als Kriterium für einen ausreichenden Abtrag der Deckschicht wird ein Schwellwert des Transmissionssignals definiert, bei dessen Überschreitung der Abtragsvorgang an dieser Bearbeitungsstelle beendet wird.

— Änderung der Transmission: Ausgewertet wird hierbei, wie stark sich das Transmissionssignal zwischen aufeinanderfolgenden Laserpulsen ändert. Der relative Abtrag kann mit dieser Methode gemessen und die abnehmende Abtrageffizienz mit zunehmendem Schichtabtrag erkannt werden (vgl. hierzu Fig. 2, 3).

— Relativwert der Transmission: Bei diesem Algorithmus wird der Transmissionsgrad des Glases vor Beginn der Bearbeitung bei der Auswertung des Transmissionssignal während des Bearbeitungsprozesses mitberücksichtigt. Hierdurch kann die Lichtdurchlässigkeit relativ zur Anfangstransmission geregelt und eine gleichmäßige Aufhellung (z. B. 50%) des Glases erzielt werden.

— Pulszahlvorgabe: Es wird eine minimal und/oder maximal einzustrahlende Anzahl von Laserpulsen/ Stelle festgelegt.

Die mikroskopischen Aufnahmen in Fig. 5a, b zeigen das Abtragergebnis einer ungeregelten (Fig. 5a) im Vergleich zur geregelten (Fig. 5b) Laserstrahlbearbeitung an der Bearbeitungsstelle des Lasers. Die örtliche Genauigkeit der Regelung wird durch die Größe des Lasereinbrandes (hier: $0,6 \times 0,6 \text{ mm}^2$) vorgegeben.

Die Abtragtiefe kann lokal den Gegebenheiten, z. B. der an dieser Stelle vorhandenen Schichtdicke, angepaßt werden. Hierdurch können bei Deckschichten, die an verschiedenen Stellen des Glases unterschiedliche Dicken aufweisen, die Unterschiede ausgeglichen und auf der ganzen Glasfläche eine gleichmäßige Restschichtdicke erzielt werden.

Das Laserstrahlverfahren wird bezüglich der Bearbeitungsparameter Pulsenergie, Energiedichte, Intensität, Puls wiederholrate, Wellenlänge, Pulszahl/Stelle so ausgelegt, daß selektiv die Deckschicht oder Teile der Deckschicht abgetragen werden. Insbesondere können die Bearbeitungsparameter, beispielsweise die Wellenlänge, so gewählt werden, daß bei vollständig abgetragener Deckschicht die Laserstrahlung in dem sich darunter befindlichen Glas eine ausreichend hohe Trans-

mission besitzt, so daß ein versehentliches Abtragen des Glaswerkstoffes ausgeschlossen werden kann.

Die Regelung kann auch durch die spektrale Auswertung des charakteristischen Eigenleuchtens bei der Bearbeitung erfolgen. Mit der Plasma-Emissions-Spektroskopie (PES) werden hierbei Elemente nachgewiesen, die entweder nur in der Deckschicht und/oder nur im Glaswerkstoff vorhanden sind. Das Abnehmen eines PES-Meßsignals, welches von einem Element der Deckschicht herrührt, weist beispielsweise auf den Abtrag der Deckschicht hin. Hierbei sind jedoch aufwendigere Maßnahmen, z. B. die Aufnahme von Eichkurven für die jeweilige Glaswerkstoff/Deckschicht-Kombination, erforderlich als bei der Auswertung der Transmissionsmessung.

Anstelle oder zusätzlich zur Transmissionsmessung kann auch die Streuung oder die Reflexion der Meßstrahlung unterhalb oder oberhalb des Glasbauteils gemessen und ausgewertet werden. Hierbei wird von der Änderung der optischen Eigenschaften der Deckschicht durch die Bearbeitung mit der Laserstrahlung Gebrauch gemacht.

Zur rationellen Durchführung kann das erfindungsgemäße Verfahren in geeigneter und bekannter Weise ganz oder teilweise automatisiert werden, was ebenfalls zur Kostensenkung beiträgt.

Ohne Einschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens kann das erfindungsgemäße Verfahren neben dem bevorzugten Anwendungsgebiet, der Restaurierung von kulturhistorischen Glasfenstern, auch zur Bearbeitung und zur gezielten Umarbeitung beliebiger beschichteter Glasbauteile eingesetzt werden, um diese zum Beispiel mit einer vorgebbaren Deckschichttopologie zu versehen, damit die auf diese Weise umgearbeiteten Glasbauteile bestimmte anwendungsspezifische Eigenschaften aufweisen, wie zum Beispiel einen richtungsabhängigen Transmissionsgradienten zur Erzielung spezieller Lichteffekte.

40 Bezugszeichenliste

- 1 Laser
- 2 Laserstrahlung
- 3 Umlenkspiegel
- 4 Bearbeitungsoptik
- 5 Bearbeitungsstelle
- 6 Deckschicht
- 7 Glasbauteil
- 8 Sondenlaser
- 9 Meßstrahlung
- 10 Detektorvorrichtung
- 11 Prozeßrechner
- 12 Handhabungseinrichtung
- 13 Umlenkspiegel
- 14 Beobachtungsoptik

Patentansprüche

1. Verfahren zum Abtragen von Deckschichten von Glasbauteilen mit Laserstrahlung, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Deckschicht mit der Laserstrahlung derart beaufschlagt wird, daß sie vollständig oder teilweise verdampft und/oder anderweitig zumindest teilweise abgetragen wird, daß die Bearbeitungsstelle mit einer das Glas unbeschädigt lassenden Meßstrahlung beaufschlagt wird, daß die Transmission der Meßstrahlung durch das mit der Deckschicht belegte Glas gemessen wird

und daß der Abtragvorgang in Abhängigkeit des Ergebnisses der Transmissionsmessung gesteuert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei der Meßstrahlung um elektromagnetische Strahlung einer polychromatischen oder einer monochromatischen Lichtquelle handelt.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei der monochromatischen Lichtquelle um einen Laser (Sondenlaser) handelt.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die elektromagnetische Strahlung im sichtbaren Spektralbereich liegt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Transmissionsmessung während des Abtragvorgangs erfolgt und daß der Abtragvorgang an einer bestimmten Bearbeitungsstelle bei Überschreiten eines vorgebbaren Schwellwerts der Transmission abgebrochen wird.

6. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Transmissionsmessung während des Abtragvorgangs erfolgt und daß der Abtragvorgang in Abhängigkeit der zeitlichen Änderung der Transmission an der Bearbeitungsstelle gesteuert wird.

7. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Transmissionsmessung während des Abtragvorgangs erfolgt und daß der Abtragvorgang in Abhängigkeit des Transmissionssignals vor Beginn des Abtragvorgangs an einem oder mehreren Meßpunkten gesteuert wird.

8. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die thermische Eindringtiefe und die optische Eindringtiefe im Sub-Mikrometer- bis Mikrometerbereich liegen.

9. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei der Laserstrahlung um gepulste Laserstrahlung handelt.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Pulsdauer im Bereich von Pikosekunden bis Millisekunden liegt.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß die gepulste Laserstrahlung eine hohe Spitzenintensität aufweist, vorzugsweise im kW- bis GW-Bereich.

12. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Abtragrate im Bereich von 0,1 Mikrometer bis 10 Mikrometer pro Laserpuls liegt.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Abtragrate zur Vermeidung von Beschädigungen des Glases derart zu bemessen ist, daß mit dem ersten Laserpuls die Deckschicht nicht vollständig weggedampft werden kann.

14. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 9 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß nach jedem Laserpuls die Transmission an der Bearbeitungsstelle gemessen wird.

15. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 9 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß eine minimale und/oder maximale Anzahl von Laserpulsen pro Bearbeitungsstelle vorgegeben wird.

16. Verfahren nach einem oder mehreren der An-

sprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Wellenlänge der Laserstrahlung in einem Bereich hoher Transmission des Glases liegt.

17. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich zur Transmissionsmessung oder anstelle der Transmissionsmessung das sich an der Bearbeitungsstelle ausbildende Plasma der Deckschicht mittels Plasmaemissionsspektroskopie untersucht wird und die Steuerung des Abtragvorgangs in Abhängigkeit des Meßergebnisses erfolgt.

18. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich zur Transmissionsmessung oder anstelle der Transmissionsmessung der gestreute und/oder reflektierte Anteil der Meßstrahlung ausgewertet und der Abtragvorgang in Abhängigkeit des Meßergebnisses erfolgt.

19. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß zur Unterstützung des Abtragvorgangs und/oder zur Beseitigung von abgetragenen Material die Zufuhr von Gas vorgesehen ist.

20. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserstrahlung mit einer oszillatorischen Bewegung verfahren wird.

21. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem oder mehreren der Patentansprüche 1 bis 20, gekennzeichnet durch die Kombination folgender Merkmale:

- die Laserstrahlung und die Meßstrahlung werden mittels eines Kopplungselements zusammengeführt

- das Glasbauteil ist auf einer verfahrbaren Handhabungseinrichtung angeordnet

- auf der der Deckschicht abgewandten Seite des Glasbauteils ist ein Detektor zur Messung der Transmission der Meßstrahlung angeordnet

- zur Auswertung der Transmissionsmessung ist ein Prozeßrechner vorgesehen, der den Laser und über eine CNC-Steuerung die Handhabungseinrichtung steuert

- zur Beobachtung der Bearbeitungsstelle ist eine Einrichtung zur Sichtkontrolle vorgesehen, beispielsweise nach Art eines Mikroskops.

22. Vorrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßstrahlung von einem zweiten Laser (Sondenlaser) erzeugt wird.

23. Vorrichtung nach Anspruch 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, daß das Kopplungselement als Spiegel ausgebildet ist, der die Laserstrahlung zur Bearbeitungsoptik umlenkt und im Wellenlängenbereich des Sondenlasers eine hohe Transmission aufweist.

24. Vorrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei dem Spiegel um einen dielektrischen Spiegel handelt.

25. Mit einem Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 20 bearbeitetes, eine Deckschicht aufweisendes Glasbauteil, dadurch gekennzeichnet, daß das Glasbauteil eine Restdeckschicht aufweist, die über die Oberfläche des Glasbauteils eine konstante Schichtdicke besitzt.

26. Mit einem Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 20 bearbeitetes, eine Deckschicht aufweisendes Glasbauteil, dadurch gekenn-

zeichnet, daß das Glasbauteil einen richtungsabhängigen Transmissionsgradienten aufweist.

27. Mit einem Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 20 bearbeitetes, eine Deckschicht aufweisendes Glasbauteil, dadurch gekennzeichnet, daß das Glasbauteil eine derart ausgebildete Restdeckschicht aufweist, daß das Glasbauteil bezüglich des unbearbeiteten Zustandes eine gleichmäßige Aufhellung aufweist.

28. Mit einem Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 20 bearbeitetes, eine Deckschicht aufweisendes Glasbauteil, dadurch gekennzeichnet, daß das Glasbauteil eine Restdeckschicht aufweist, deren Schichtdicke in vorgegebenen Bereichen des Glasbauteils derart variiert, daß ein sichtbarer Kontrast zwischen den Bereichen hoher und niedriger Restschichtdicke erkennbar ist.

29. Mit einem Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 20 bearbeitetes, eine Deckschicht aufweisendes Glasbauteil, dadurch gekennzeichnet, daß das Glasbauteil ein kulturhistorisches Glasbauteil, z. B. Kirchenfenster, und die Deckschicht eine Verwitterungsschicht ist.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

25

30

35

40

45

50

55

60

65

Fig. 1

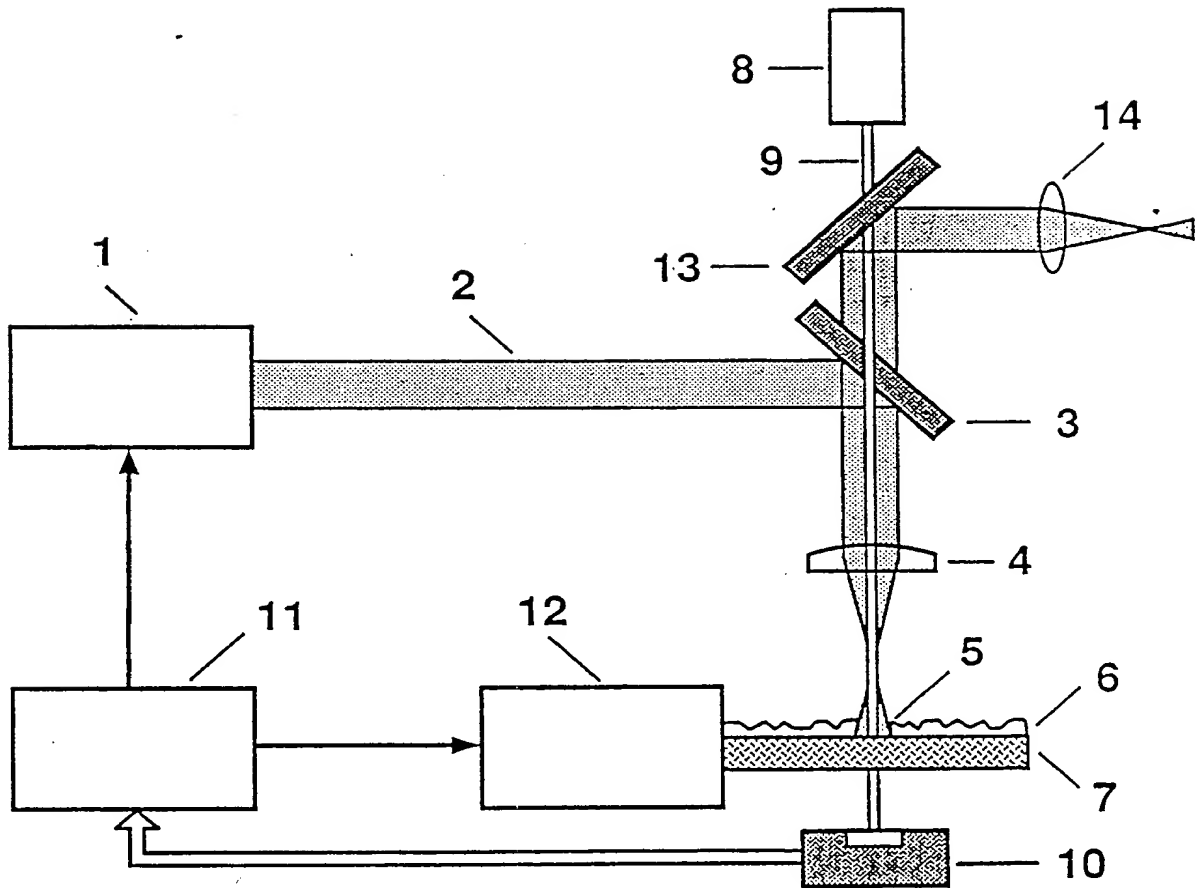


Fig. 2

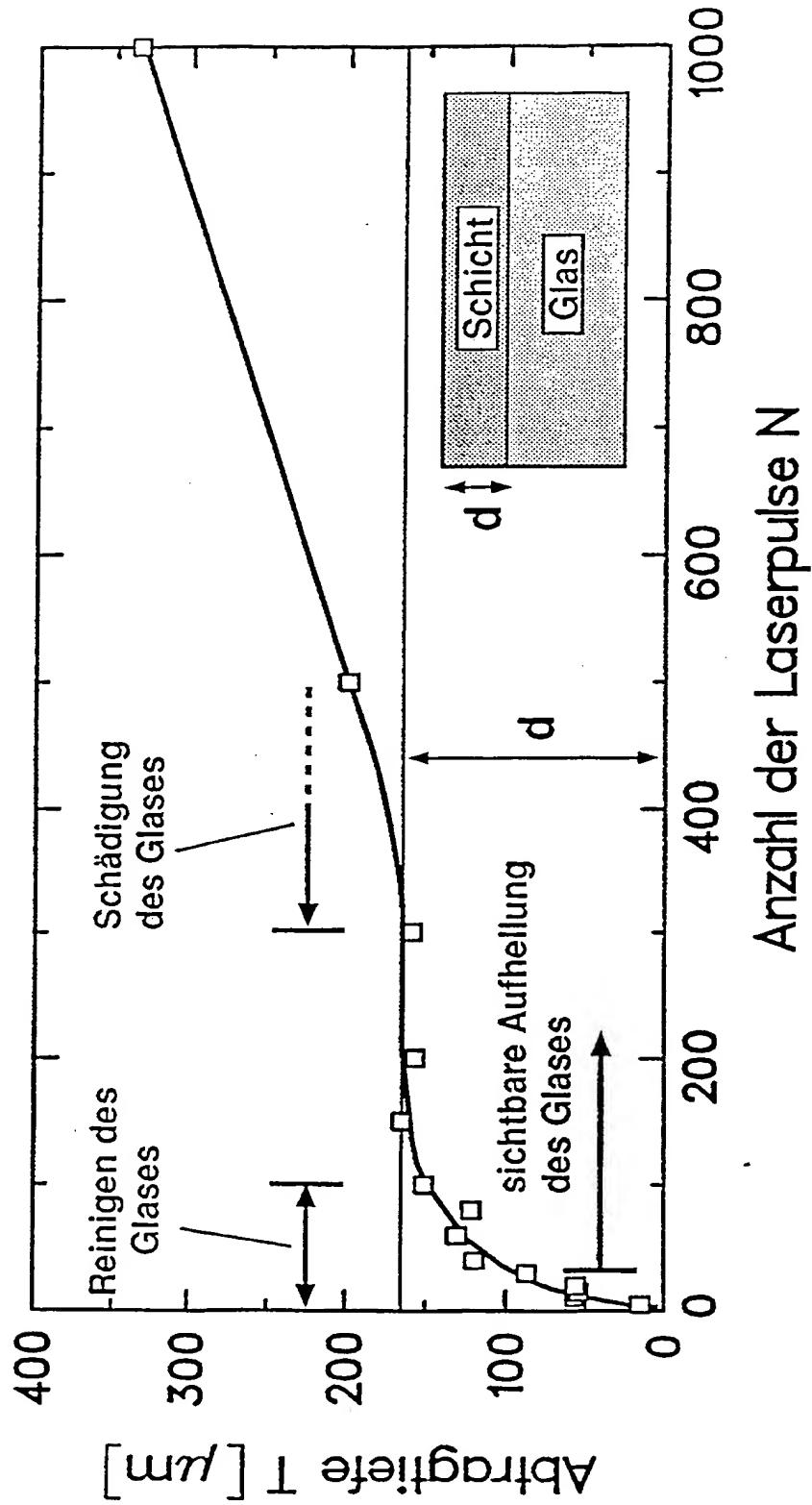


Fig. 3

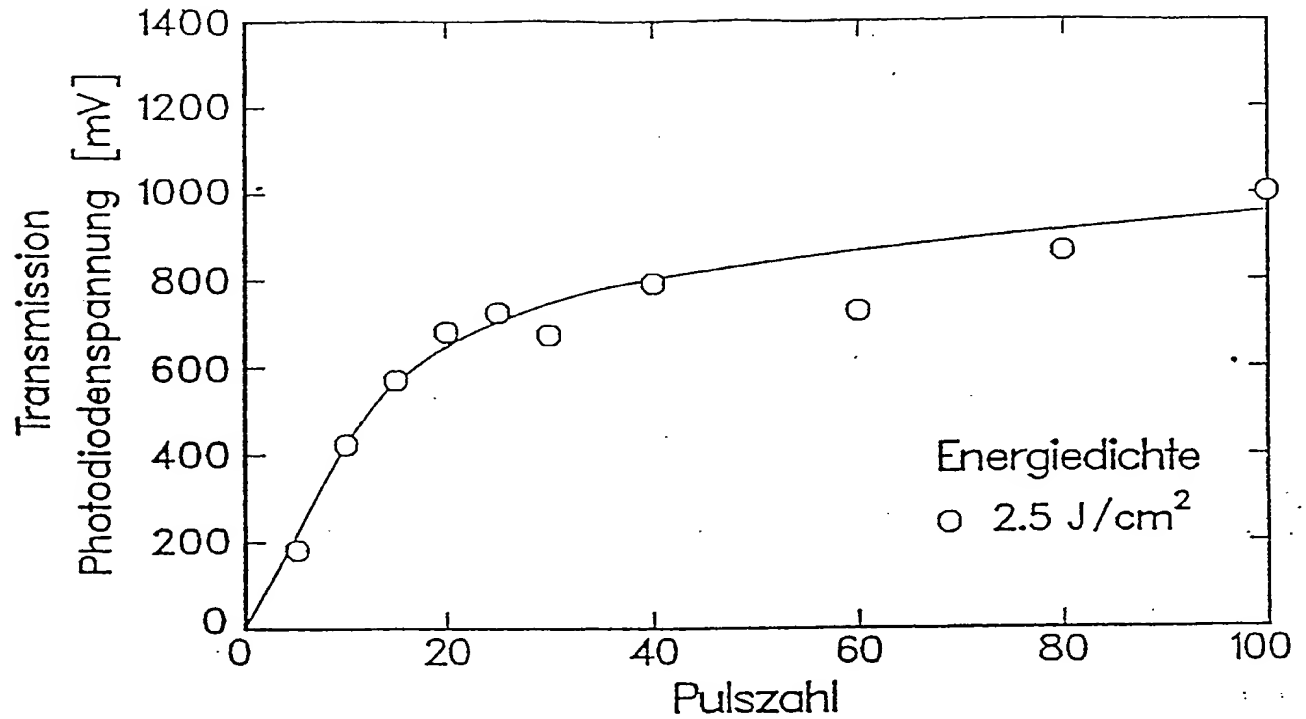
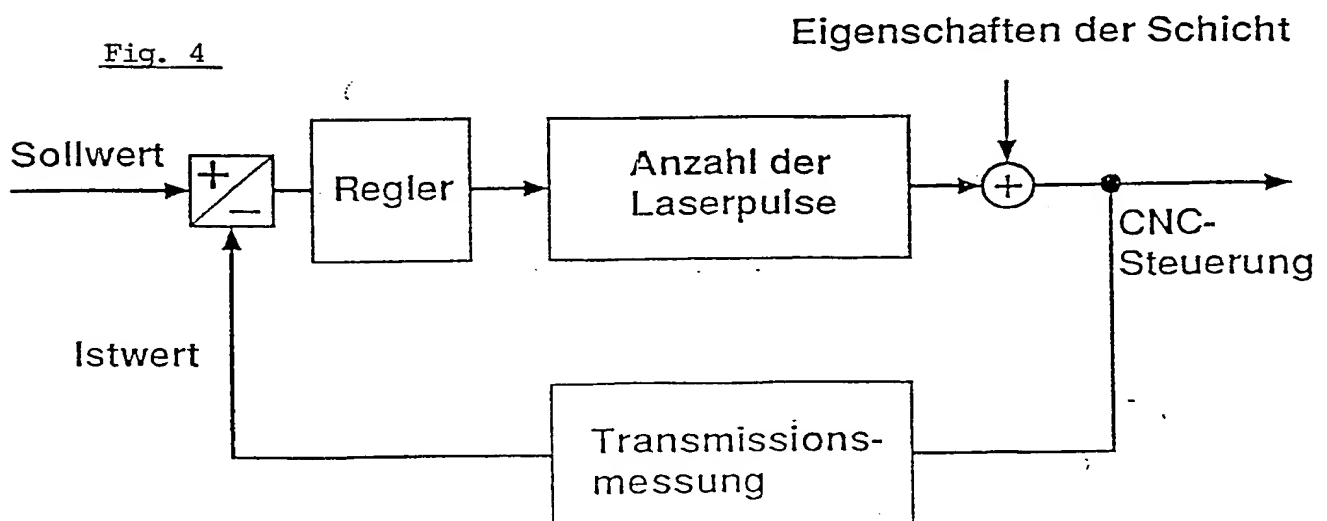
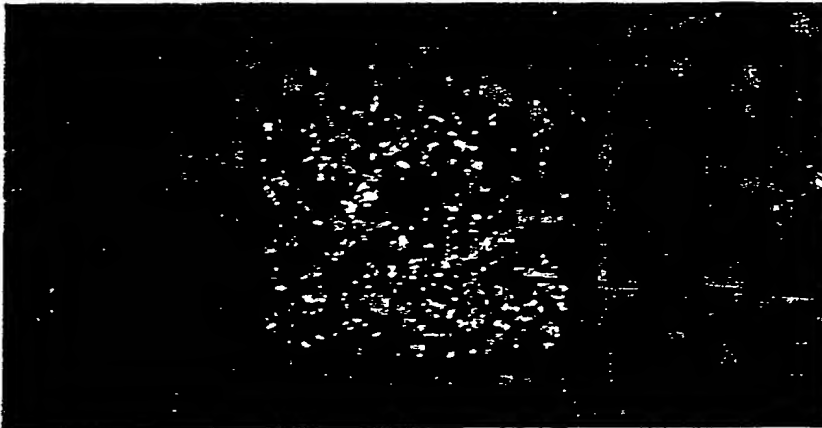


Fig. 4

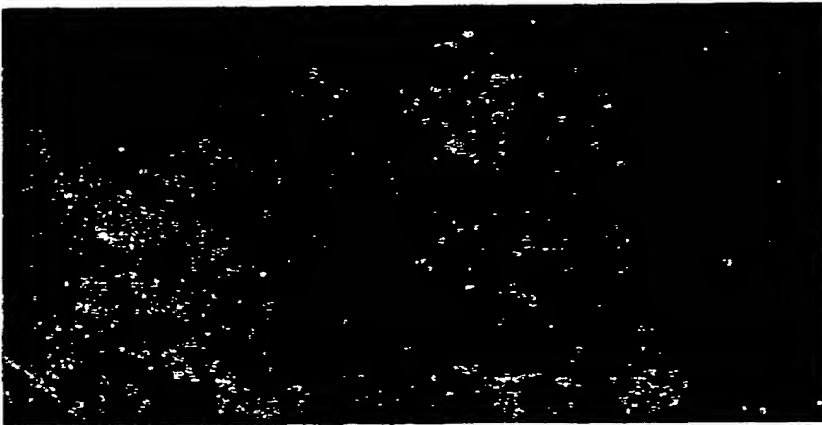




ungeregelt

— Anschmelzungen

Fig. 5 a



geregelt

— Restschicht

Fig. 5 b